



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE COLAS PARA  
MEJORAR LA PRODUCCIÓN DEL CARGUÍO Y  
ACARREO EN UNA EMPRESA MINERA DE  
CAJAMARCA, 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Cerdan Lopez Alex

Elvis Ronald Garcia Mendoza

Asesor:

Mg. Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza

Cajamarca - Perú

2021

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación, en primer lugar, a Dios por permitirme llegar hasta esta etapa tan importante y especial de mi vida, por encaminarme a encontrar mi vocación y propósito de vida, por darme la fortaleza e inteligencia necesaria para cumplir mis objetivos personales y profesionales.

A mi madre, quien fue una persona incondicional y ha sido el soporte en momentos de flaqueza, mi perseverancia y las ganas de lograr grandes resultados es por ella ahora soy una persona muy diferente.

Ronal; Alex

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por ser mi guía y permitirme llegar a este punto del camino, a mis familiares por su apoyo brindado a lo largo de la realización de este proyecto, gracias por la confianza y motivación a seguir siempre adelante.

A mis amigos que me han sido soporte de crecimiento personal y profesional, y gracias a todas las personas que directa o indirectamente permitieron que este proyecto se haga realidad.

Ronal; Alex

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>44</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>49</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rutas de transporte.....	18
Tabla 2. Nomenclatura de una excavadora 336 DL CAT.....	19
Tabla 3. Tiempos reales de ciclo de la excavadora 336 DL CAT.....	21
Tabla 4. Tiempo de carguío de excavadora a Volquete de 20 m <sup>3</sup> .....	21
Tabla 5. Tabla de cálculos de producción de excavadoras Caterpillar.....	22
Tabla 6. Tiempos promedios por ciclo de trabajo del volquete Volvo FMX 440 en mineral.....	24
Tabla 7. Tiempos promedios por ciclo de trabajo volquete Volvo FMX 440 en desmorte...	24
Tabla 8. Análisis al ciclo de Carguío y acarreo considerando un solo frente de Carguío.....	29
Tabla 9. Número de volquetes utilizados antes del estudio.....	31
Tabla 10. Ciclo antes del estudio vs velocidad aplicada.....	31
Tabla 11. Análisis al ciclo de Carguío y Transporte considerando dos frentes de Carguío...	31
Tabla 12. Teoría aplicada al proceso de acarreo capacidad de 16 volquetes.....	33
Tabla 13. Proceso de acarreo Óptimo con capacidad unitaria/hora de 18 volquetes.....	35
Tabla 14. Costo unitario de operación de la empresa minera 2019 y 2020.....	37
Tabla 15. Comparación de rendimientos de los equipos.....	37
Tabla 16. Incremento de m <sup>3</sup> en la empresa minera.....	38
Tabla 17. Requerimiento de Volquetes después del estudio.....	39
Tabla 18. Requerimiento de Volquetes por frentes de minado.....	39
Tabla 19. Reducción de Flota de Volquetes, disminuyendo costos.....	40
Tabla 20. Incremento de m <sup>3</sup> por Excavadora y reducción en los costos unitarios (C.U).....	40
Tabla 21. Incremento de Producción por día Mineral – Desmorte.....	41
Tabla 22. Ahorro obtenido por la reducción del Costo Unitario de Carguío.....	41
Tabla 23. Reducción de número de volquetes.....	42
Tabla 24. Reducción de Costos por eficiente uso de volquetes.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de carguío y acarreo.....	17
Figura 2. Límite de excavación de excavadora.....	19
Figura 3. Análisis de la causa del rendimiento bajo de la excavadora 336DL.....	26
Figura 4. Análisis de la causa de generación de colas en los puntos de carguío.....	27
Figura 5. Demoras que afectan el ciclo fluido de acarreo.....	28
Figura 6. Capacidad de Carguío menor a la llegada de volquetes.....	33
Figura 7. Incremento de Cola de espera en volquetes.....	34
Figura 8. Fluctuación entre el Input y el Output.....	34
Figura 9. Llegada de volquetes vs capacidad de carguío.....	35
Figura 10. Cola de espera registrada una hora antes del almuerzo.....	36
Figura 11. Input alineado al Output.....	36
Figura 12. Incremento de rendimiento de excavadora.....	28

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado Aplicación de la teoría de colas para mejorar la producción del carguío y acarreo en una empresa minera Cajamarca, 2020. El cual tiene como objetivo. Mejorar la producción del carguío y acarreo por la aplicación de la Teoría de Colas en una empresa minera de Cajamarca, 2020. Con los resultados obtenidos en campo, se el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo volquete FMX 440 R =  $66,56\text{m}^3/\text{h}$  y para la excavadora 336 FL CAT el rendimiento real de  $356,4\text{ m}^3/\text{h}$  lo que indica que la excavadora está trabajando en un 91,55% de su máximo rendimiento.

Con respecto a la aplicación de la Teoría de colas en las operaciones unitarias de carguío y acarreo se pudo incrementar en 9% ( $326\text{ m}^3/\text{h} - 356\text{ m}^3/\text{h}$ ) la producción de los equipos de carguío y la producción para los equipos de acarreo es de ( $60.49\text{ m}^3/\text{h} - 66.56\text{ m}^3/\text{h}$ ).

En términos económicos los costos de las operaciones unitarias de carguío y acarreo al aplicar la teoría de colas se redujeron en promedio en 1,09% (Carguío;  $21.79\text{ \$/Tm} - 21.05\text{ \$/Tm}$ ), (acarreo;  $81.43\text{ \$/Tm} - 80.11\text{ \$/Tm}$ ), el cual logró una mejora en la economía de esta empresa minera.

En términos económicos costos obtenidos luego de la aplicación de la teoría de colas lo cual se tiene Ahorro por día de \$ 6,624.00, mes \$198,720.00 y año \$198,720.00 lo cual influye en la reducción de costos del proceso de carguío y acarreo.

**Palabras clave:** Aplicación de teoría de colas producción carguío y acarreo.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En toda actividad minera las operaciones de carguío y acarreo de mineral y desmante hacia el pad y botaderos respectivamente es crítica, ya que durante el tiempo de vida del proyecto las distancias irán variando considerablemente, así mismo estas operaciones son una de las etapas más costosas dentro del ciclo de producción y siempre se busca minimizar dicho monto.

Actualmente la empresa minera de Cajamarca el sistema de carguío y transporte se realiza con excavadoras y volquetes. Según reportes del área de planeamiento de la empresa minera, durante últimos trimestres se ha detectado bajo rendimiento de producción, para lo cual se ha determinado que existen múltiples causas como la aglomeración de volquetes en un solo punto de carguío, tráfico vehicular, vías en mal estado y velocidades de manejo por debajo del promedio.

El bajo rendimiento de productividad en las operaciones de carguío y acarreo, debido a la inadecuada relación de equipos de acarreo con respecto a los de carguío y esto ocasiona bajo rendimiento de la productividad y con ello el incremento de los costos en estas operaciones, para esto, una variable importante es mantener los equipos dedicados a la productividad de la mina.

Aymachoque, Javier. (2008) en su tesis titulada: “La programación dinámica aplicada a la secuencia de minado superficial de un yacimiento de oro diseminado, mina la virgen de la Compañía Minera San Simón S.A.”, del 2008, indica que: La programación dinámica es otra de las técnicas de investigación de operaciones que

ofrece grandes ventajas en la solución de múltiples problemas, del mundo industrial moderno. Puede definirse como una técnica matemática de optimización usada para hacer una serie de decisiones Inter-relacionadas. En otras palabras, la programación dinámica comienza con una pequeña porción del problema planteado y encuentra la solución óptima para esta pequeña porción luego gradualmente se ensancha el problema encontrando la solución óptima para la etapa presente partiendo del anterior, hasta que el problema original sea totalmente resuelto.

Según Barrientos, (2014) En su tesis denominada Análisis de factores operacionales en detenciones y productividad de sistema de carguío y transporte en minería a cielo abierto, llegó a la conclusión de que los resultados indican que se observa que los días de mayor productividad son aquellos que poseen la menor duración de las detenciones en estudio, entre otros factores. El modelo permite construir nuevos escenarios a partir del caso base, donde se agregan cambios operacionales ligados a agregar la posibilidad de que los camiones puedan realizar cambios de turno cargado, que se varíe la posición del estacionamiento respecto al chancador y el cambio del tipo de camiones. Lo que permite un aumento de un 4.2% en la productividad diaria y disminuyendo en un 10.6% la duración de las detenciones. Esto se traduce en un aumento del beneficio económico de 4.07 MUS\$ mensualmente.

Según Marín (2015) en su tesis titulada “Incremento de la Productividad en el Carguío y Acarreo en frentes que Presentan altos contenidos de Arcillas al utilizar un Diseño de Lastre Adecuado, Minera Yanacocha, Perú, 2015”, cuyo objetivo principal de la investigación es incrementar la productividad de los equipos de carguío y acarreo en

frentes que presentan altos contenidos de arcillas al realizar un diseño de lastre adecuado. El diseño de investigación fue de tipo no experimental, descriptivo, transversal, aplicativo, para la muestra se ha tomado la pala Hitachi ex5500 en un frente de trabajo con altos contenidos de arcillas. En conclusión, se pudo determinar diferencias importantes en productividad del equipo de carguío en frentes donde se planificó el lastre; por ejemplo, en las palas Hitachi 4 y 7 se incrementó la productividad de 69 a 91%.

Machaca (2016), en la conclusión de su tesis señala que: El acoplamiento entre las cantidades de equipos carguío y transporte ayuda a mantener en condiciones óptimas los costos unitarios de carguío y transporte y que el exceso o la falta de volquetes incurren directamente en los costos unitarios; es así que la distribución de volquetes para una excavadora 345D, 365C y el cargador sobre ruedas 992K son de 7; 8 y 10 unidades de volquetes, con un costo unitario de 0,69; 0,68; 0,2 US\$/t respectivamente, para una distancia de transporte de 1,8 km.

Rivera (2018), en la conclusión de su tesis señala que: Con la excavadora CAT 336DL, se tiene una producción de material para movimiento de tierras desde la cantera China 1 hasta la presa de relaves enlozada de 476 t/h, una eficiencia operativa del 67,76 % y que el dimensionamiento de la flota óptima de acarreo para la excavadora CAT 336DL, se realizó mediante el análisis del factor de acoplamiento, en función al costo y la producción, obteniéndose que la flota óptima de acarreo es de 11 camiones, el costo unitario de carguío es de 0,2044 US\$/t, el costo unitario de acarreo es de 0,3050 US\$/t y la producción potencial carguío - acarreo es 623,52 t/h

Malimba (2019), en su tesis afirma que: El acople entre las unidades de carguío y transporte está en función del tiempo del ciclo de la operación y la producción programada, es así que el acople promedio en los meses de agosto a noviembre del año 2017 hacia el PAD es de 10 unidades de transporte para una unidad de carguío y hacia el DME es de 2 unidades de transporte para 1 unidad de carguío, usando volquetes de 15 m<sup>3</sup> y excavadoras CAT 336DL de 3 m<sup>3</sup> de capacidad de cuchara, este acople se adecúa a un diseño de transporte óptimo generando un ahorro de 0,64 \$/t.

El carguío consiste en la carga de material fragmentado del yacimiento para transportar a los posibles destinos, ya sea a la chancadora primaria, stock de mineral o a los botaderos sur y norte de estéril. La operación de carguío involucra el desarrollo de una serie de funciones que aseguran que el proceso se lleve a cabo con normalidad y eficiencia. Esta fase del proceso de la explotación minera se ocupa de definir los sectores de carga, las direcciones de carguío (a frentes de carga, posición de equipos de carguío y nivel de pisos) y el destino de los materiales de acuerdo con leyes de clasificación y tonelajes definidas previamente. Según (Codelco, 2018).

Un ciclo puede comenzar en un equipo de carguío cuando el camión recibe su carga. Luego el camión se desplaza lleno hacia el lugar de descarga a través de una ruta designada a lo largo de un camino minero. El lugar de la descarga puede ser un stock, un botadero o un chancador. Una vez que la carga ha sido vaciada, el camión se da la vuelta y viaja vacío hacia el equipo de carguío. Según (Xavier, 2015)

La producción es el volumen o peso total de material que debe manejarse en una operación específica. Puede representar tanto al mineral con valor económico que se extrae, como al estéril que debe ser removido para acceder al primero. A menudo, la producción de mineral se define en unidades de peso, mientras que el movimiento de estéril se expresa en volumen. Según (Ortiz J. M., 2016)

Teoría de colas aplicada al carguío y transporte:

Rodríguez (2013), menciona que las primeras bases de la teoría de colas se remontan a comienzos del siglo XX y, no es hasta la década del cincuenta cuando Koenigsberg (1958) publica la primera investigación aplicada a la industria de la minería, específicamente, minería subterránea de carbón. Éste considera las operaciones mineras como un circuito cíclico cerrado de colas, que da servicio a un número finito de unidades de trabajo, bajo un determinado estándar de servicio y un determinado rendimiento del sistema. Las unidades que completan un ciclo se reincorporan a la cola en la primera etapa. Se suponen distribuciones de tiempo de servicio exponencial y tasas de llegadas variables.

Teoría de colas aplicada a la industria minera:

Rodríguez (2013) nos dice que todos los procesos vinculados a la minería una de las más costosas viene a ser la operación de carguío y acarreo de mineral; esto debido a que en este proceso de operación continuo y por su alta grado de mecanización es necesario una buena cantidad de equipos. La finalidad de esta es, retirar el material producto de la voladura, y transportarlo a la planta de concentración o botadero, el cual se puede acomodar siguiendo la siguiente secuencia:

Preparación de la zona de trabajo.

Posicionamiento del equipo.

Retirar el material volado desde el frente de trabajo.

Traspaso del material desde al equipo de transporte dispuesto para el traslado.

Transporte del material a su lugar de destino (planta, acopio o botadero).

Descarga del material.

Retorno del equipo de transporte al punto de carguío.

## 1.2. Formulación del problema

¿En cuánto mejorara la producción de carguío y acarreo con la aplicación de la teoría de Colas en una empresa minera de Cajamarca, 2020?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo general

Mejorar la producción del carguío y acarreo por la aplicación de la Teoría de Colas en una empresa minera de Cajamarca, 2020.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar el rendimiento de los equipos en estudio
- ✓ Aplicara la Teoría de Colas en los equipos de carguio y acarreo
- ✓ Analizar los Costos unitarios de operación para el año 2020.
- ✓ Elaborar un resumen de los Costos Obtenidos luego del estudio.

## 1.4. Hipótesis

### 1.4.1. Hipótesis general

Aplicando la teoría de colas mejorara la producción de carguio y acarreo en una empresa minera de Cajamarca 2020.

### 1.4.2. Hipótesis específicas

- ✓ Mediante la toma de datos en campo del carguío y acarreo se determinará el rendimiento de la excavadora CAT 336 DL y el volquete volvo FMX 440.
- ✓ Al Aplicar la Teoría de Colas en los equipos de carguio y acarreo se logrará mejorar la producción en la empresa minera.
- ✓ Con el análisis de los costos unitarios de operación para el año 2020 de terminar el porcentaje de variación en cuanto al carguio y acarreo.
- ✓ Mediante el resumen de los costos obtenidos luego de aplicar la teoría de colas se determinar la producción de mineral y desmonte y el ahorro generado por año en dólares.

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de investigación**

La presente tesis titulada. Aplicación de la teoría de colas para mejorar la producción del carguío y acarreo en una empresa minera de Cajamarca es aplicada, pues confronta la teoría con la realidad. Según la naturaleza de los datos es cuantitativa, se recogerá datos de la realidad donde ocurren los hechos sin manipular las variables, siendo el propósito de incrementar la producción actual del ciclo de carguío y acarreo en una empresa minera de Cajamarca 2020.

Nivel de investigación: Será descriptivo y prospectivo, puesto que se interpreta la realidad de los hechos, y se analizará las causas del porque la producción actual de los equipos de carguío y acarreo.

Diseño de investigación: Con la finalidad de recolectar información necesaria para responder a las preguntas de investigación, cumplir y alcanzar el objetivo de la investigación, utilizaremos el diseño descriptivo comparativo; y según la temporalización será diseño transversal correlacional, puesto que de describir las relaciones entre las dos variables en un momento determinado.

Según su manipulación de la variable: La investigación fue no experimental, ya que no se interviene en el comportamiento de las variables, es decir que estas no se van a manipular.

### **2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)**

#### **2.2.1. Población**

3 excavadoras CAT 336 DL

50 camiones volquetes volvo FMX 440

### **2.2.2. Muestra**

2 excavadoras CAT 336 DL

12 volquetes volvo FMX 440.

## **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

### **2.3.1. Técnicas**

**Observación:** Esta técnica se usó para identificar las actividades de los equipos utilizados para el carguío y acarreo en una empresa minera de Cajamarca.

**Análisis documental:** Se recopiló información concerniente al tema de investigación.

### **2.3.1. Instrumentos**

Los instrumentos que se utilizaron para la recolección de datos son.

- Tabla de toma de tiempo de ciclo
- Cuaderno de notas
- Registro fotográfico

## **2.4. Procedimiento**

El presente trabajo de investigación se realizó mediante 3 etapas: las cuales se detallan a continuación. etapa de pre campo, etapa de campo y etapa de post campo.

### **2.4.1. Etapa de pre campo**

Inicialmente se realiza la revisión de antecedentes, estudios previos, realizados respecto al tema, en los diferentes ámbitos, tanto local, nacional como internacional, para lo cual se recurrió a los repositorios virtuales de las distintas

universidades, lo cual nos permita tener referencia con respecto al tema de análisis comparativo de especificaciones técnicas y rendimiento real en campo de maquinaria pesada para el movimiento de tierras.

#### 2.4.2. Etapa de Campo

Se realizó el reconocimiento de los equipos de carguío y acarreo considerados como muestra en este trabajo de investigación y se procedió a la toma de datos respecto al tiempo de ciclo y producción de la excavadora 336 DL y volquete Volvo FMX 440 teniendo en cuenta lo siguiente.

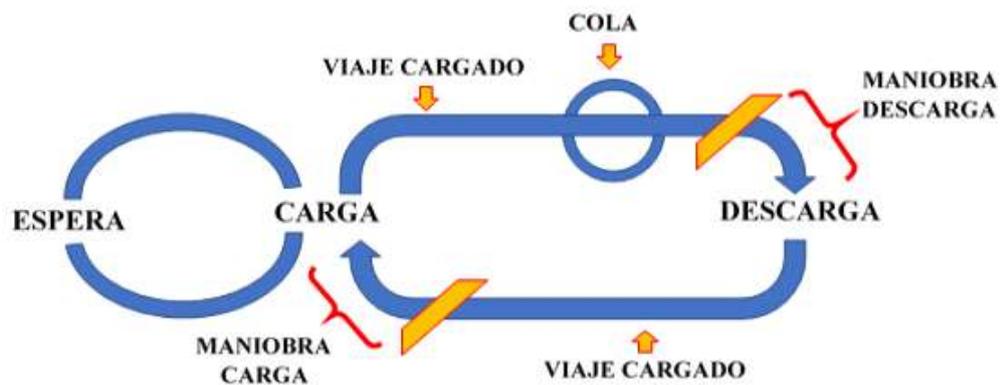


Figura 1. Proceso de carguío y acarreo

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el cálculo del tiempo de ciclo total, el sistema calcula los datos haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$T_{tc} = TC + Trc + TD + Trv$$

Dónde: TC (tiempo de carguío), Trc (tiempo de recorrido cargado), TD (tiempo de descarga) y Trv (tiempo de recorrido vacío).

Para el acarreo se trabajó con volquetes de 20 m<sup>3</sup> de la marca volvo serie FMX

440. Estos volquetes recorren 3.53 km de distancia cuando trasladan mineral desde el tajo hacia el Pad y 1.59 km de distancia cuando trasladan material estéril del tajo hacia el botadero.

La velocidad máxima a la que pueden transitar los volquetes es de 40 kph.

Tabla 1.

*Rutas de transporte*

Origen	Destino	Dist. Km	Pendiente Promedio (%)
Banco	PAD	3.53	10
Banco	Botadero	1.59	8

Fuente: Elaboración propia

### 2.4.3. Etapa de pos campo

Se procesaron y tabularon de forma digital los datos obtenidos en campo con ayuda del programa programas Microsoft Word y Microsoft Excel, así mismo se elaboraron cuadros y gráficos de los análisis de los resultados obtenidos para los equipos, en donde se pudo identificar de forma más detallada la mejora de la producción en el carguío y acarreo con la aplicación de la teoría de colas.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Rendimiento de los equipos

#### 3.1.1. Excavadora 336 DL CAT

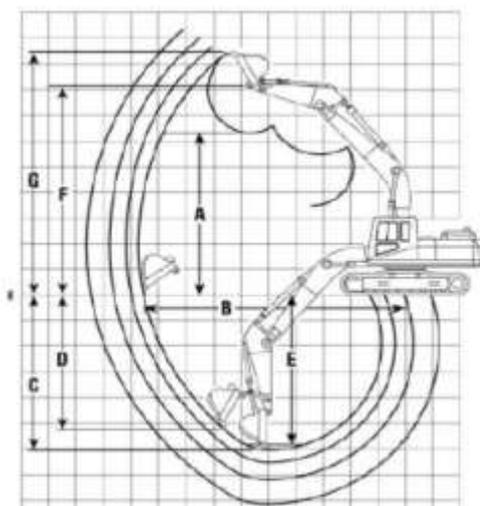
Equipo utilizado para levantar el material producto de la voladura en los bancos hacia los volquetes.

Tabla 2.

*Nomenclatura de una excavadora 336 DL CAT*

Brazo	2,15 m * 7'1"		2,8 m * 9'2"		3,2 m 10'6"		3,9 m 12'10"	
	m	pies	m	pies	m	pies	m	pies
<b>A</b>	6,50	21'4"	7,20	23'7"	7,11	23'4"	7,54	24'9"
<b>B</b>	10,09	33'1"	10,62	34'10"	11,00	36'1"	11,71	38'5"
<b>C</b>	6,53	21'5"	6,99	22'11"	7,49	24'7"	8,19	26'10"
<b>D</b>	5,35	17'7"	6,04	19'10"	6,13	20'1"	7,15	23'6"
<b>E</b>	6,31	20'8"	6,82	22'5"	7,33	24'0"	8,05	26'5"
<b>F</b>	8,35	27'5"	8,86	29'1"	—	—	—	—
<b>G</b>	9,92	32'7"	10,34	33'11"	10,27	33'8"	10,75	35'3"

Fuente: Manual de rendimiento Caterpillar edición 39 en español



**Pluma de una pieza**  
**Límites de excavación**  
● Zapatas y tren de rodaje estándar

**CLAVE:**

- A** Altura máxima de carga del cucharón con dientes.
- B** Alcance máximo a nivel del suelo.
- C** Profundidad máxima de excavación.
- D** Excavación vertical máxima.
- E** Profundidad máxima de excavación con fondo plano de 2,44 m (8'0").
- F** Altura máxima del pasador de articulación del cucharón.
- G** Altura máxima a los dientes del cucharón en la cima del arco.

*Figura 2. Límite de excavación de excavadora*

Fuente: Manual de rendimiento Caterpillar edición 39 en español

Para determinar el cálculo del rendimiento se tomará en cuenta: duración el ciclo de trabajo y coeficiente de eficiencia según condiciones de trabajo (altura de corte, tipo de material y dimensiones del equipo), donde el volumen excavado por hora es calculado por la siguiente formula:

$$R = \frac{36000 * Q * E * K}{T * FV}$$

Donde:

R : Rendimiento medidos en el banco, m<sup>3</sup>/h

Q : Capacidad o volumen del cucharón según catálogo de CAT, 4,6 m<sup>3</sup>

K : Factor de llenado del cucharón

E : Factor de eficiencia del tiempo (54 min/60 min) = 0,9

T : Tiempo de un ciclo, en minutos

Fv : Factor de abundamiento 1. 14%

Calculamos el factor de llenado del cucharón (K):

$$k = \frac{1}{1 + \% \text{ Esponjamiento del material}} = \frac{1}{1 + 0.2} = 0.833$$

Tiempo de ciclo en minutos (T): Se tomaron tiempos del ciclo de la excavadora 336 DL CAT, es decir tiempos de carga de material y carguío al volquete. Con el material es producto de la voladura de los bancos, la posición de la excavadora es cercana de la caja del volquete situado debajo del pasador de articulación de la pluma con el brazo De esta manera se obtuvo los siguientes tiempos reales por ciclo

de trabajo.

Tabla 3.

*Tiempos reales de ciclo de la excavadora 336 DL CAT*

N°	Tiempo total (en segundos)					Material
	Cargado del cucharón	Giro con carga	Descarga del cucharón	Giro sin carga	Tiempo total/ciclo	
1	8.9	6.7	4.3	6.5	26.4	Mineral
2	8.8	6.5	4.2	6.6	26.1	Mineral
3	8.5	6.6	4.3	6.4	25.8	Mineral
4	8.4	6.6	4.5	6.5	26	Mineral
5	8.8	6.4	4.4	6.6	26.2	Mineral
6	8.9	6.2	4.2	6.2	25.5	Mineral
7	8.6	6.5	4.3	6.3	25.7	Mineral
8	8.7	6.7	4.3	6.4	26.1	Mineral
9	8.8	6.6	4.2	6.4	26	Mineral
10	8.7	6.4	4.6	6.7	26.4	Mineral
11	8.6	6.4	4.5	6.4	25.9	Mineral
12	8.5	6.5	4.5	6.3	25.8	Mineral
13	8.7	6.6	4.4	6.6	26.3	Mineral
14	8.9	6.7	4.6	6.6	26.8	Mineral
15	8.6	6.7	4.5	6.5	26.3	Mineral
16	8.6	6.6	4.3	6.4	25.9	Mineral
17	8.7	6.5	4.4	6.4	26	Mineral
18	8.8	6.8	4.5	6.5	26.6	Mineral
19	8.9	6.9	4.6	6.6	27	Mineral
20	8.6	6.7	4.5	6.6	26.4	Mineral
21	8.7	6.7	4.6	6.5	26.5	Mineral
22	8.8	6.8	4.2	6.4	26.2	Mineral
<b>Pro.</b>	<b>8.7</b>	<b>6.59</b>	<b>4.41</b>	<b>6.47</b>	<b>26.17</b>	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.

*Tiempo de carguío de excavadora a Volquete de 20 m<sup>3</sup>*

Tiempo de Cuadre Volquete. (min)	tiempo de Carguío excavadora (min)	Ciclo (min)

**0.01**

**2.18**

**2.19**

---

Fuente: Elaboración propia

Calculamos el rendimiento de la excavadora 336 DL CAT:

$$R = \frac{36000 * Q * E * K}{T * FV}$$

$$R = (36000 * Q * E * K) / (T * Fv)$$

$$R = (3600 * 3.62 * 0.9 * 0.83) / (26.17 * 1.14) = 9734 / 29.834 = 326.27 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\mathbf{R = 326.27m^3/h}$$

De acuerdo al Manual de Caterpillar, para obtener la producción óptima de una excavadora requiere coordinar la máquina y el cucharón con los requisitos de producción y los volquetes de transporte, con la siguiente tabla suministrada por el manual tenemos que:

Tabla 5.

Tabla de cálculos de producción de excavadoras Caterpillar

Metros cúbicos por hora de 60 minutos\*

Tiempo de Ciclo Calculados		CARGA ÚTIL CALCULADA DEL CUCHARÓN** – METROS CÚBICOS SUELTOS																		Tiempo de Ciclo Calculados		
Tiempo en																				Ciclos por min.	Ciclos por seg.	
Seg.	Min.	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5			4,0
10,0	0,17																				6,0	360
11,0	0,18																				5,5	330
12,0	0,20	60	90	150	210	270															5,0	300
13,3	0,22	54	81	135	189	243	297	351	405	459	513	567	621	675	729	783	837	891	945	1080	4,5	270
15,0	0,25	48	72	120	168	216	264	312	360	408	456	504	552	600	648	696	744	792	840	960	4,0	240
17,1	0,29	42	63	105	147	189	231	273	315	357	399	441	483	525	567	609	651	693	735	840	3,5	210
20,0	0,33	36	54	90	126	162	198	234	270	306	342	378	414	450	486	522	558	544	630	720	3,0	180
24,0	0,40	30	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	375	405	435	465	495	525	600	2,5	150
30,0	0,50	24	36	60	84	108	132	156	180	204	228	252	276	300	324	348	372	396	420	480	2,0	120
35,0	0,58	20	31	51	71	92	112	133	153	173	194	214	235	255	275	296	316	337	357	408	1,7	102
40,0	0,67					81	99	177	135	153	171	189	207	225	243	261	279	297	315	360	1,5	90
45,0	0,75									133	148	164	179	195	211	226	242	257	273	312	1,3	78
50,0	0,83																				1,2	72

Fuente: Manual de rendimiento de Caterpillar edición 39 en español

En la tabla 4. El rendimiento máximo es de 396 m<sup>3</sup>/h.

La eficacia alcanzada en la empresa minera de Cajamarca es de 54 min/60 min = 0,9 por tanto, podemos afirmar que:

Rendimiento de excavadora 336 FL CAT según manual = 396 x 0,9 = 356,4 m<sup>3</sup>/h

Rendimiento de la excavadora 336 FL CAT obtenido en el campo = 326,27 m<sup>3</sup>/h

Por lo tanto, podemos afirmar que en empresa minera de Cajamarca la excavadora 336 FL CAT está trabajando en un 91,55% de su máximo rendimiento.

### 3.1.2. Rendimiento del volquete Volvo FMX 440

Para determinar el rendimiento de estos volquetes se utilizará la siguiente formula

$$R = \frac{60 * Q * E}{T}$$

Donde:

R : Rendimiento medidos en el banco, m<sup>3</sup>/h

Q : Capacidad o volumen de la tolva de volquete, 20 m<sup>3</sup>

E : Factor de eficiencia de trabajo ( 54 min/60 min) = 0,9

T : Tiempo de un ciclo completo, en minutos

Realizamos el cálculo del tiempo de un ciclo completo promedio del volquete:

Tabla 6.

*Tiempos promedios por ciclo de trabajo del volquete Volvo FMX 440 en mineral*

N°	Posicionamiento para carguío de material	Tiempo empleado (en minutos)			Tiempo total/ciclo	Material
		Ida cargado	Descarga del material	Regreso vacío		
1	0.58	17.65	1.58	8.8	28.61	Mineral
2	0.59	17	1.56	8	27.15	Mineral
3	0.62	17.1	2.11	8.2	28.03	Mineral
4	0.58	17.1	1.58	9	28.26	Mineral
5	0.57	17.2	1.56	9.2	28.53	Mineral
6	0.58	16.8	1.54	7.8	26.72	Mineral
7	0.58	16.9	1.59	8.2	27.27	Mineral
8	0.59	17.9	2.02	8	28.51	Mineral
9	0.59	18	2.07	7.9	28.56	Mineral

10	0.59	16.1	2.11	8.2	27	Mineral
11	0.59	18.2	1.59	8.1	28.48	Mineral
12	0.57	18	1.56	7.8	27.93	Mineral
13	0.56	17	1.57	7.3	26.43	Mineral
14	0.55	17.7	2	7.4	27.65	Mineral
15	0.58	18.8	2.01	8.5	29.89	Mineral
16	0.55	16	2.03	7.9	26.48	Mineral
17	0.58	18.9	2.01	8.5	29.99	Mineral
18	0.59	18.1	1.59	8	28.28	Mineral
19	0.6	18.2	1.58	8.2	28.58	Mineral
20	0.6	17	1.57	7.9	27.07	Mineral
21	0.58	17.5	1.58	7.3	26.96	Mineral
22	0.59	17.7	1.56	7.2	27.05	Mineral
<b>Pro.</b>	<b>0.58</b>	<b>17.49</b>	<b>1.74</b>	<b>8.06</b>	<b>27.88</b>	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.

*Tiempos promedios por ciclo de trabajo del volquete Volvo FMX 440 en desmonte*

N°	Tiempo empleado (en minutos)				Tiempo total/ciclo	Material
	Posicionamiento para carguío de material	Ida cargado	Descarga del material	Regreso vacío		
1	0.4	8.5	1.1	3.32	13.32	Desmonte
2	0.45	8.1	1	3.4	12.95	Desmonte
3	0.42	8	1.11	3.32	12.85	Desmonte
4	0.41	8.2	1.2	3.1	12.91	Desmonte
5	0.4	8.2	1.15	3.2	12.95	Desmonte
6	0.44	8.32	1.2	3.5	13.46	Desmonte
7	0.43	8.22	1.1	3.31	13.06	Desmonte
8	0.39	8	1.15	3.06	12.6	Desmonte
9	0.34	8.14	1.9	3.16	13.54	Desmonte
10	0.4	8.2	1.5	3.2	13.3	Desmonte
11	0.32	8.1	1.15	3.62	13.19	Desmonte

12	0.41	8.44	1.31	3.32	13.48	Desmonte
13	0.4	8.21	1.1	3.13	12.84	Desmonte
14	0.35	8.1	1.12	3.15	12.72	Desmonte
15	0.39	8.15	1.21	3.21	12.96	Desmonte
16	0.41	8.12	1.19	3.32	13.04	Desmonte
17	0.34	8	1.15	3.4	12.89	Desmonte
18	0.42	8.21	1.2	3.31	13.14	Desmonte
19	0.39	8.1	1.24	3.4	13.13	Desmonte
20	0.4	8.21	1.1	3.37	13.08	Desmonte
21	0.32	8.1	1	3.31	12.73	Desmonte
22	0.3	8	1.1	3.21	12.61	Desmonte
<b>Pro.</b>	<b>0.39</b>	<b>8.16</b>	<b>1.19</b>	<b>3.29</b>	<b>13.03</b>	

Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos procedemos a calcular el rendimiento del volquete VOLVO FMX 440.

$$R = (60 \times Q \times E)/T$$

$$R = (60 \times 20 \times 0,9)/16,225 = 66,56\text{m}^3/\text{h}$$

$$R = 66,56\text{m}^3/\text{h}$$

### 3.2. Aplicación de la Teoría de Colas en los equipos de carguío y acarreo

Con la finalidad de evaluar el principal problema en los procesos de carguío y acarreo elaboraremos diagramas de procesos en cada ciclo.

### 3.2.1. Diagrama de Procesos en el ciclo de Carguío.

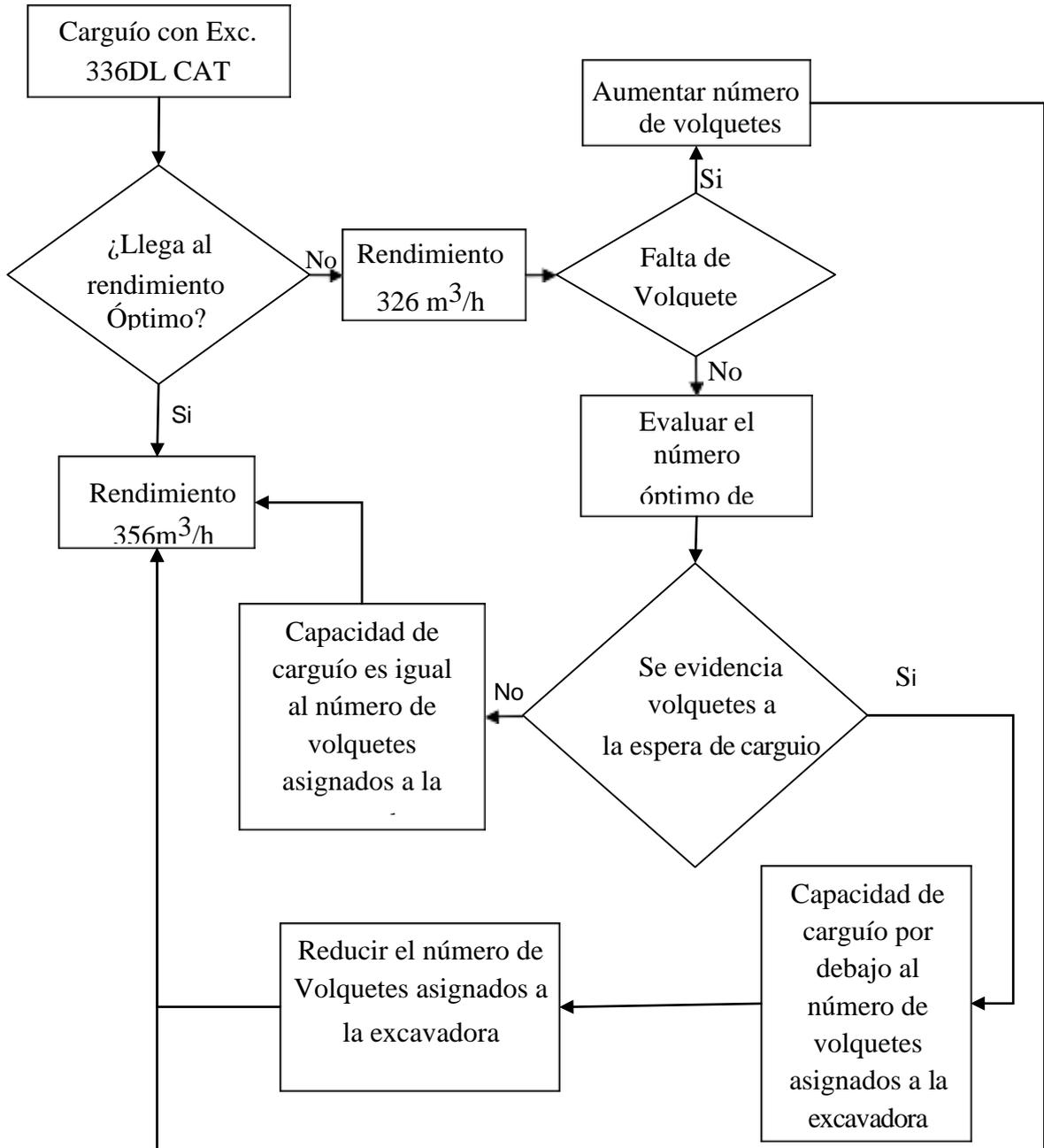


Figura 3. Análisis de la causa del rendimiento bajo de la excavadora 336DL

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2 Diagrama de Procesos en el ciclo de acarreo

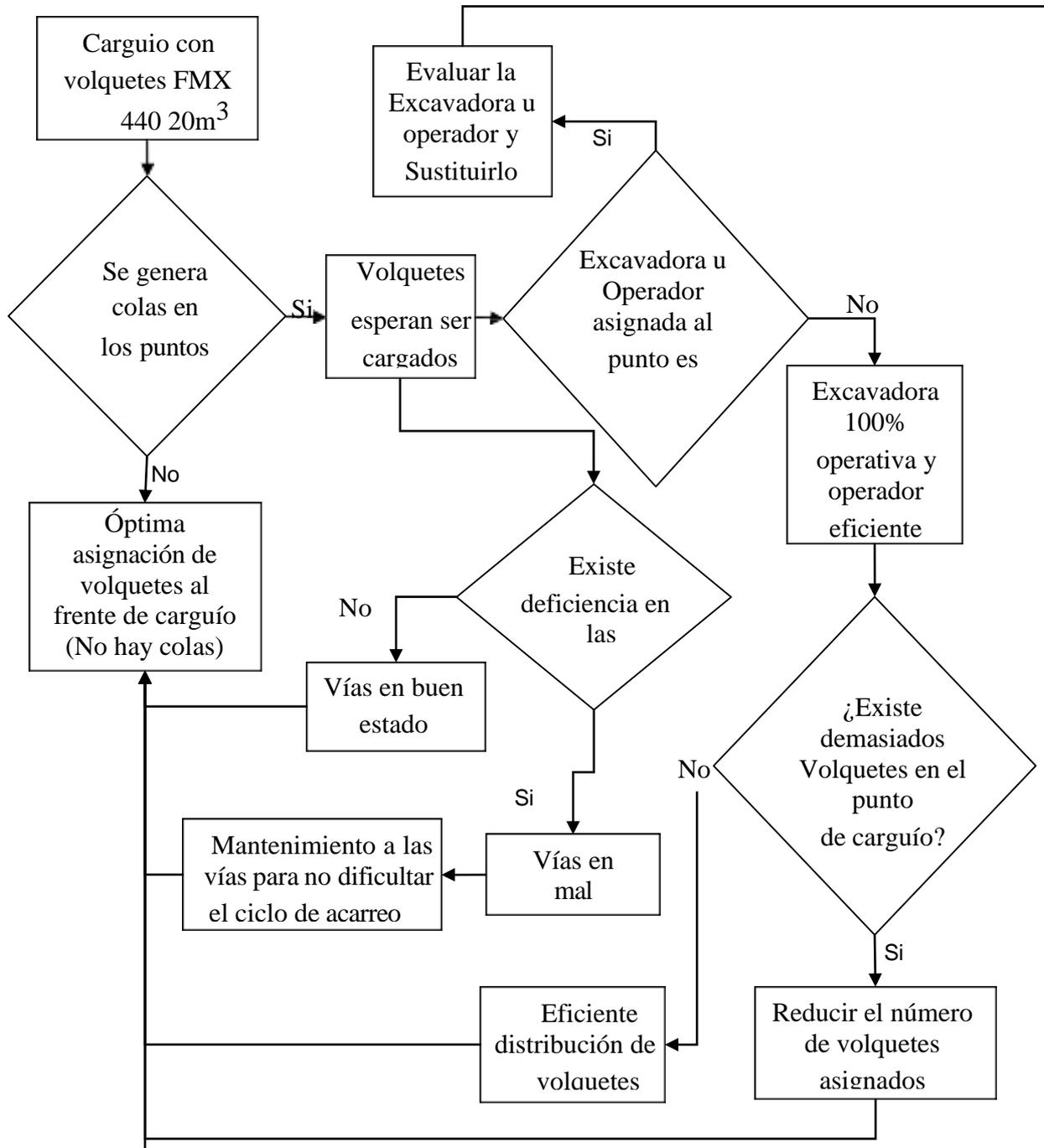


Figura 4. Análisis de la causa de generación de colas en los puntos de carguío.  
Fuente: Elaboración propia

Con el análisis del diagrama de procesos en el ciclo de carguío y acarreo; se puede concluir que se tiene un déficit en la correcta distribución del número de volquetes en cada frente, ya que en ambos casos se concluye que la solución es disminuir el número de volquetes de cada frente; hasta antes del estudio se venía trabajando con colas en los frentes de carguío, lo cual genera una pérdida de producción y un elevado costo de acarreo, incluso llegando afectar el rendimiento de la excavadora.

Otra causa que puede afectar a los volquetes en mantener un adecuado ciclo es el estado de las vías de transporte, la pendiente de las Rampas, estado de las zonas de descarga y carguío.

Para evitar que estas causas afecten al ciclo y que los volquetes y puedan mantener el desarrollo continuo del ciclo, se da énfasis en el mantenimiento de vías con la ayuda de los equipos Motoniveladora, Rodillo y Cisterna de agua, de igual manera los frentes de carguío y descarga están en constante mantenimiento por los tractores de orugas.



*Figura 5.* Demoras que afectan el ciclo fluido de acarreo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.

*Análisis al ciclo de Carguío y acarreo considerando un solo frente de Carguío*

<b>M/M/c/GD/N/K Queueing Model</b>			
<b>Input Data</b> (to enter an infinite value, type i or infinity)			
$\lambda =$	<b>16.55</b>	$\mu =$	<b>18</b>
$c =$	<b>1</b>		
<b>Sys. Lim., N=</b>	<b>infinity</b>	<b>Source limit, K =</b>	<b>infinity</b>
<b>Output Results:</b>			
$l_{eff} =$	16.54998	$r / c =$	0.91944
$L_s =$	11.4136	$L_q =$	10.49415
$W_s =$	0.68964	$W_q =$	0.63409
<b>n</b>	<b>Pn</b>	<b>CPn</b>	<b>1-CPn</b>
0	0.080555556	0.080555556	0.919444444
1	0.074066359	0.154621915	0.845378085
2	0.068099902	0.222721817	0.777278183
3	0.062614077	0.285335894	0.714664107
4	0.057570165	0.342906058	0.657093942
5	0.052932568	0.395838627	0.604161374
6	0.048668556	0.444507182	0.555492818
7	0.044748033	0.489255216	0.510744784
8	0.041143331	0.530398546	0.469601454
9	0.037829007	0.568227553	0.431772447
10	0.03478167	0.603009223	0.396990777
11	0.031979813	0.634989036	0.365010964
12	0.029403662	0.664392698	0.335607302
13	0.027035033	0.691427731	0.308572269
14	0.024857211	0.716284943	0.283715058
15	0.022854825	0.739139767	0.260860233
16	0.021013742	0.760153509	0.239846491

Fuente: Teoría-de-colas- modelo-mm1 (Excel 2019) tabla de simulación MM1

De la tabla 7:

$\lambda$ = Llegada de Volquetes promedio al frente de Carguío

$\mu$ = Capacidad de carguío de la excavadora

$c$ = Número de frentes de carguío

$\lambda_{ffc}$ = Tasa de llegada

$\rho/s$ = Intensidad de Tráfico

$L_s$ = Número medio de volquetes en cola

$W_s$ = Tiempo medio en el sistema

$L_q$ = Número medio de volquetes en la cola

$W_q$ = Tiempo medio de espera de los volquetes en la cola

$n$ = Número de volquetes en el sistema

$P_n$ = Probabilidad de que haya  $n$  volquetes en estado estable

$C_{p_n}$ = Probabilidad de que el sistema este vacío

Aplicando el modelo de línea de espera MM1 con un solo servidor ya que se evaluará cada frente de carguío de forma independiente.  $\lambda = 16.55$  (llegada de volquetes promedio al frente de carguío),  $\mu = 18$  (capacidad de carguío de la Excavadora). Luego de aplicar el simulador en la tabla se Obtiene.

Tiempo de espera  $W_q = 0.63409$ .  $W_q = 0.63409 * 60 = 38$  min, del cuadro siguiente se obtiene que el número de volquetes en cola es 6. Por lo tanto, cada volquete esperará durante la hora 6 min.

Tabla 9.

*Número de volquetes utilizados antes del estudio*

Material	Mineral	Desmante	# Volquetes	
			Mineral (9)	Desmante (5)
caso1	1	3		<b>24</b>
caso2	2	2		<b>28</b>
caso3	0	4		<b>20</b>

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 8 antes del estudio se utiliza 9 volquetes por minado de frente de mineral y 5 volquetes por minado de frente de desmante. Utilizando en el caso 2, 28 volquetes de un total de 30 asignados a la operación. Dicha utilización de volquetes se da por el ciclo elevado producto de una mínima velocidad que aplican los operadores.

Tabla 10.

*Ciclo antes del estudio vs velocidad aplicada*

Origen	Destino	Rend. Exc. m <sup>3</sup> /h	Ciclo Vol. (Min)	Vel. Volquete <u>km/h</u>	# Volquete s
TAJO	PAD	326.27	27.87	<b>7.6</b>	9
TAJO	BOTADERO	326.27	12.55	<b>7.6</b>	5

Fuente: Elaboración propia

Se hizo el análisis al sistema de transporte en la compañía, hallando déficit en dicho proceso, analizando el rendimiento actual de la excavadora 326.27 m<sup>3</sup> / h, se obtiene que la capacidad de carguío es de 18 Volquetes cada hora, sin embargo, la llegada de volquetes al frente de carguío es de 16.55 promedio.

se realizó una segunda corrida al sistema de colas para obtener la mejor opción de disminuir los tiempos muertos; obteniendo:

Tabla 11.

*Análisis al ciclo de Carguío y Transporte considerando dos frentes de Carguío*

<b>M/M/c/GD/N/K Queueing Model</b>			
<b>Input Data</b> (to enter an infinite value, type i or infinity):			
$\lambda =$	<b>16.55</b>	$\mu =$	<b>18</b>
$c =$	<b>2</b>		
<b>Sys. Lim., N=</b>	<b>infinity</b>	<b>Source limit, K =</b>	<b>infinity</b>
<b>Output Results:</b>			
$\lambda_{eff} =$	16.55	$\rho / c =$	0.45972
$L_s =$	1.16584	$L_q =$	0.24639
$W_s =$	0.07044	$W_q =$	0.01489
<b>n</b>	<b>Pn</b>	<b>CPn</b>	<b>1-CPn</b>
0	0.3701236926	0.3701236926	0.6298763074
1	0.3403081729	0.7104318655	0.2895681345
2	0.1564472295	0.8668790950	0.1331209050
3	0.0719222680	0.9388013629	0.0611986371
4	0.0330642649	0.9718656278	0.0281343722
5	0.0152003773	0.9870660051	0.0129339949
6	0.0069879512	0.9940539564	0.0059460436
7	0.0032125165	0.9972664729	0.0027335271
8	0.0014768652	0.9987433381	0.0012566619
9	0.0006789478	0.9994222858	0.0005777142
10	0.0003121274	0.9997344132	0.0002655868
11	0.0001434919	0.9998779051	0.0001220949
12	0.0000659664	0.9999438715	0.0000561285
13	0.0000303262	0.9999741977	0.0000258023
14	0.0000139416	0.9999881394	0.0000118606
15	0.0000064093	0.9999945486	0.0000054514
16	0.0000029465	0.9999974951	0.0000025049
17	0.0000013546	0.9999988497	0.0000011503
18	0.0000006227	0.9999994724	0.0000005276
19	0.0000002863	0.9999997587	0.0000002413
20	0.0000001316	0.9999998903	0.0000001097
21	0.0000000605	0.9999999508	0.0000000492

Fuente: Teoría-de-colas- modelo-mm1 (Excel 2019) tabla de simulación MM1

De la Tabla 9. se obtiene que la mejor opción para reducir los tiempos muertos en el sistema es la implementación de un frente de carguío; lo cual reduce el tiempo de espera a 0.014 min.

Tabla 12.

*Teoría de colas aplicado al proceso de acarreo con capacidad unitaria/hora de 16 volquetes*

Horas	06:30 07:30	07:30 08:30	08:30 09:30	09:30 10:30	10:30 11:30	11:30 12:30	13:30 14:30	14:30 15:30	15:30 16:30	16:30 17:30	17:30 18:30
Llegadas de Volquetes	16	17	16	16	17	18	17	16	17	16	16
# frentes de Carguío	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Capacidad de Carguío	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Salida de Volquetes	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Cola de Espera	0	1	1	1	2	4	5	5	6	6	6
Input	16	33	49	65	82	100	117	133	150	166	182
Output	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160	176

Fuente: Elaboración propia



Figura 6. Capacidad de Carguío menor a la llegada de volquetes

Fuente: Elaboración propia



Figura 7. Incremento de Cola de espera en volquetes

Fuente: Elaboración propia

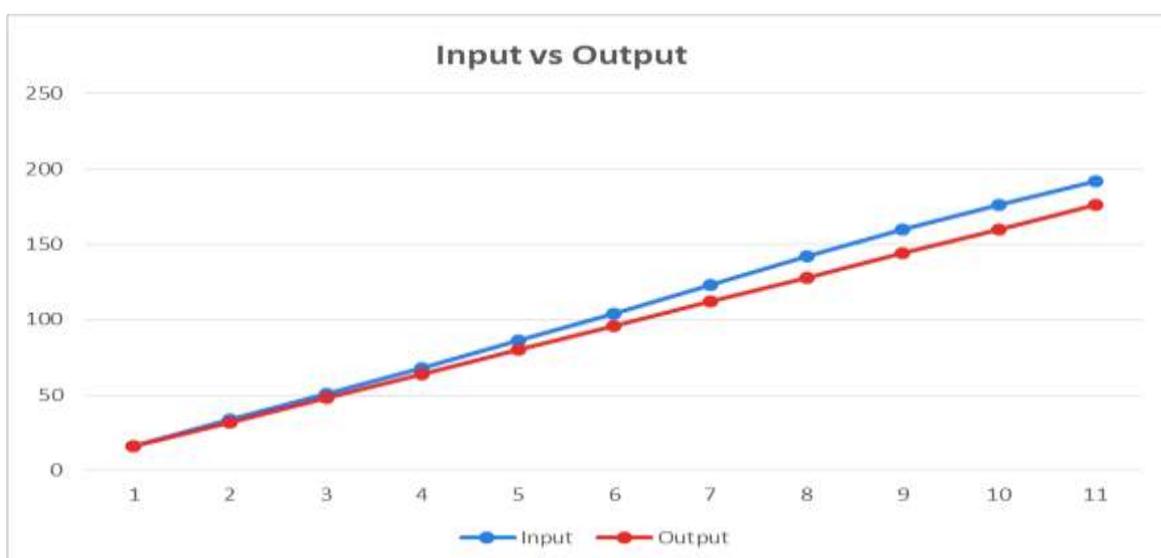


Figura 8. Fluctuación entre el Input y el Output

Fuente: Elaboración propia

Luego de la aplicación de la teoría de colas se puede realizar mejoras. Con el objetivo de mejorar la producción y optimizar el rendimiento de la excavadora 336 CAT, se determinó que el rendimiento óptimo es de 356.4 m<sup>3</sup>/h; para lo cual deben llegar 18 volquetes por hora al frente de carguío; se trabajó con dichos datos obteniendo lo siguiente.

Tabla 13.

*Proceso de acarreo Óptimo con capacidad unitaria/hora de 18 volquetes*

Horas	06:30 07:30	07:30 08:30	08:30 09:30	09:30 10:30	10:30 11:30	11:30 12:30	13:30 14:30	14:30 15:30	15:30 16:30	16:30 17:30	17:30 18:30
Llegadas de Volquetes	18	18	18	18	18	19	17	18	18	18	17
# frentes de Carguio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Capacidad de Carguio	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Salida de Volquetes	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	17
Cola de Espera	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Input	18	36	54	72	90	109	126	144	162	180	197
Output	18	36	54	72	90	108	126	144	162	180	197

Fuente: Elaboración propia



Figura 9. Llegada de volquetes vs capacidad de carguío

Fuente: Elaboración propia

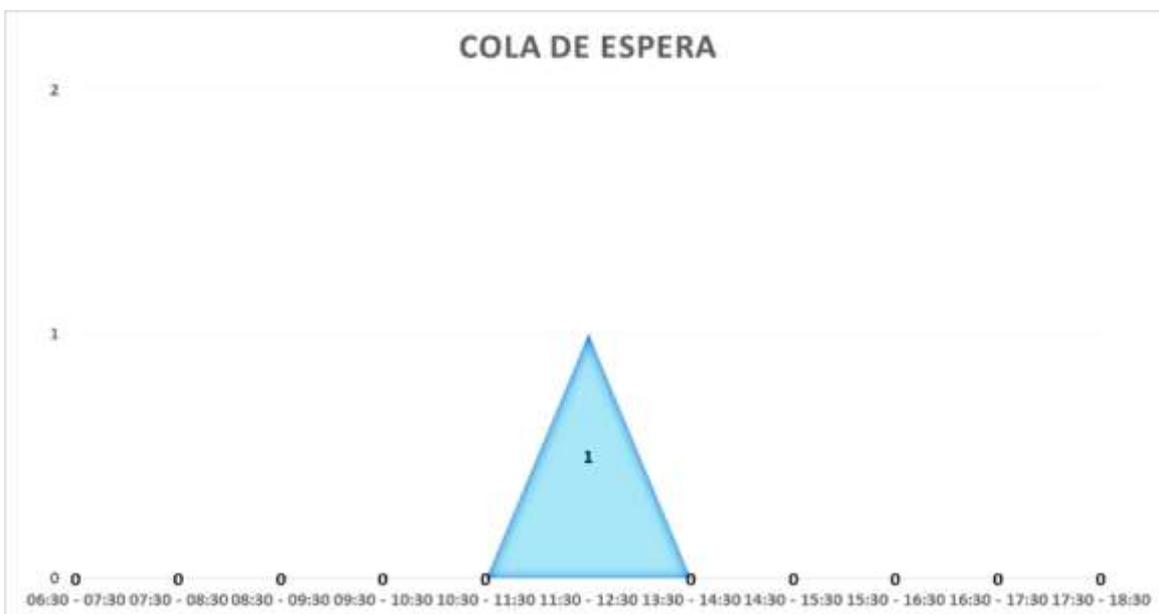


Figura 10. Cola de espera registrada una hora antes del almuerzo

Fuente: Elaboración propia

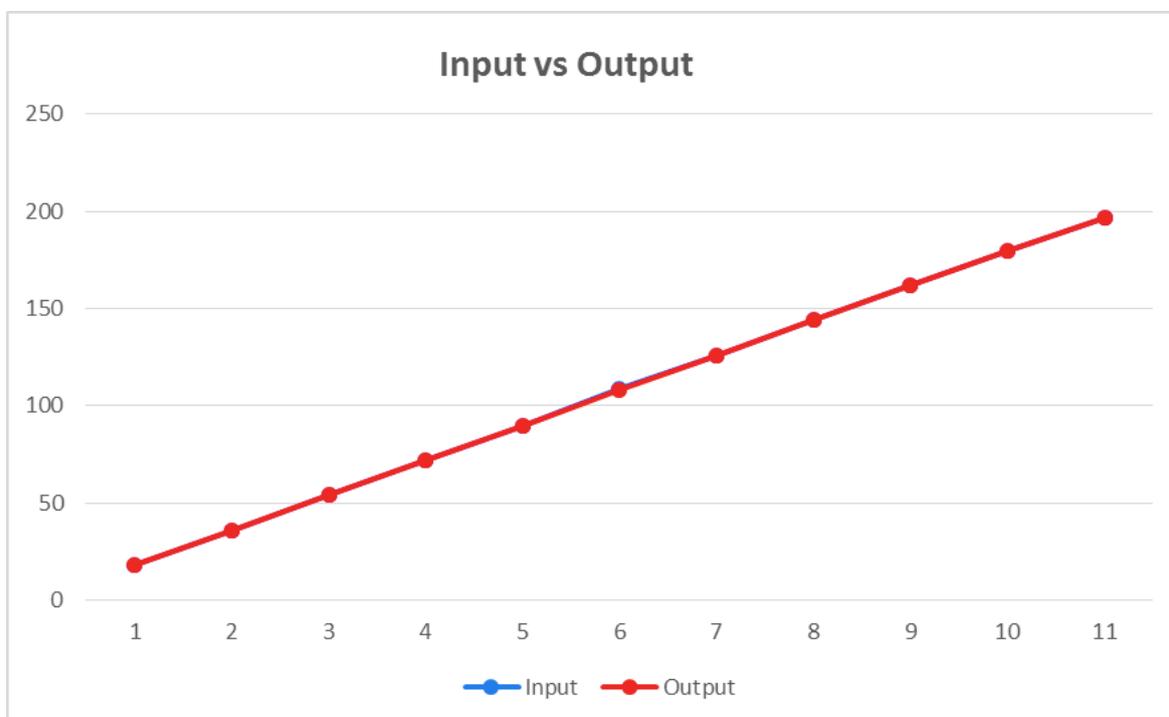


Figura 11. Input alineado al Output

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Costos unitarios de operación del año 2020 de la empresa minera de Cajamarca.

Los costos unitarios de operación proyectados para diciembre del 2020, es:

Tabla 14.

*Costo unitario de operación de la empresa minera 2019 y 2020.*

Operación	Costo unitario (USD/TM)		%Variación
	2019	2020	
Perforación	19.33	19.33	--
Voladura	29.87	29.87	--
Carguío	<b>21.79</b>	<b>21.05</b>	<b>-3.4</b>
Acarreo mina	<b>81.43</b>	<b>80.11</b>	<b>-1.62</b>
Servicios e infraestructura	22.63	22.63	--
Geología	7.08	7.08	--
Ingeniería mina	4,70	4.7	--
Gastos tajo minas	2,49	2.49	--
<b>Total:</b>	<b>189.32</b>	<b>187.26</b>	<b>-1.09</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 3.3.1. interpretación de datos

Realizamos la comparación de los rendimientos en los principales equipos de la empresa minera, con la finalidad de poder evaluar sus rendimientos en la siguiente tabla:

Tabla 15.

*Comparación de rendimientos de los equipos*

Equipo	Rendimiento (m3/h)		Diferencia de producción 2019 - 2020 (m3/h)	% de diferencia	Meta propuesta 2020 (m3/h)	Déficit (m3/h)	% faltante
	Inicial. 2019	Con el estudio					
<b>Excavadora 336 DL CAT</b>	326.27	356.4	30,13	9	357,19	0,92	-0,28
<b>Volvo FMX 440</b>	60,49	66,56	6,07	10,03	67,01	0,45	-0,67

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla 12, gracias a la aplicación de la teoría de colas se optimizó los procesos de carguío y acarreo. Donde el En el carguío se mejoró en función al rendimiento de la excavadora.

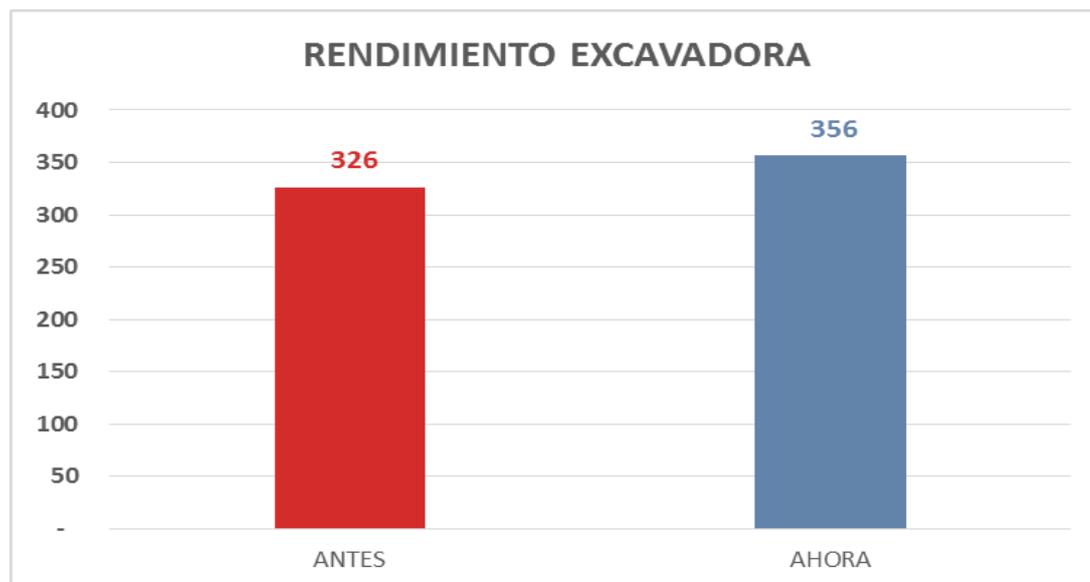


Figura 12. Incremento de rendimiento de excavadora

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en el gráfico se pasó de un rendimiento de 326 m<sup>3</sup>/h a 356 m<sup>3</sup>/h, lo cual significa un incremento en la producción y reducción del costo unitario del carguío.

Tabla 16.

*Incremento de m<sup>3</sup> en la empresa minera.*

	Ren. (m <sup>3</sup> /h)	m <sup>3</sup> /día	Costo unitario (\$/m <sup>3</sup> )
<b>ANTES</b>	326	7178	0.33
<b>AHORA</b>	356	7841	0.30
<b>Aumento en m<sup>3</sup> por día</b>		<b>662.86</b>	
<b>Aumento en m<sup>3</sup> por mes</b>		<b>19,885.80</b>	
<b>Aumento en m<sup>3</sup> por año</b>		<b>238,629.60</b>	

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, pudimos optimizar nuestro proceso de acarreo, evaluando la capacidad de carguío y rendimiento de la excavadora después del estudio tenemos:

Tabla 17.

*Requerimiento de Volquetes después del estudio*

Origen	Destino	Rendi. Exc. m <sup>3</sup> /h	Ciclo Vol. (Min)	Vel. Volquete km/h	# Volquetes
TAJO	PAD	356	21.18	10	7
TAJO	BOTADERO	356	9.54	10	3

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 14 el número de volquetes requeridos disminuye lo cual nos lleva a evaluar el número total de volquetes utilizados.

Tabla 18.

*Requerimiento de Volquetes por frentes de minado*

Material	Mineral	Desmorte	# Volquetes	
			Mineral (7)	Desmorte (3)
caso1	1	3		<b>16</b>
caso2	2	2		<b>20</b>
caso3	0	4		<b>12</b>

Fuente: Elaboración propia

La tabla 15 muestra la utilización de volquetes en los frentes de carguío disminuye en 8 manteniendo 2 volquetes en stand by. Antes del estudio se estaba sobrevalorando estos 8 volquetes ya que generaban sobredimensionamiento en las flotas. Se desmovilizó dichos volquetes disminuyendo los costos de acarreo en la empresa minera, no se toma la decisión de armar nuevos frentes de carguío debido a la poca disponibilidad de áreas de descarga tanto de mineral como desmorte. Lo cual impide elevar el nivel de producción de la mina por el momento.

Tabla 19.

*Reducción de Flota de Volquetes, disminuyendo costos.*

	Numero de Volquetes	Costo Vol. \$/h	Horas Efectivas	Monto
Antes	28	46	18	23184
Ahora	20	46	18	16560
		<b>Ahorro Día \$</b>		6,624.00
		<b>Ahorro mes \$</b>		198,720.00
		<b>Ahorro año \$</b>		<u>2,384,640.00</u>

Fuente: Elaboración propia

### 3.4. Resumen de los Costos Obtenidos luego del estudio.

Luego de aplicar la Teoría de Colas se presenta las mejoras obtenidas en la empresa minera.

#### 4.1. Carguio

Tabla 20.

*Incremento de m<sup>3</sup> por Excavadora y reducción en los costos unitarios (C.U)*

	Rendimiento (m <sup>3</sup> /h)	Horas trabajadas (h)	Tonelaje movido por Excavadora (m <sup>3</sup> )	C.U. (\$/m <sup>3</sup> )
Antes	326	22	7,177.94	0.33
Después	356	22	7,840.80	0.3
	<b>Aumento de Producción por día</b>		<b>662.86</b>	

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 17, la correcta distribución de volquetes en cada frente de carguío, ayuda que la excavadora tenga un óptimo desempeño del rendimiento, logrando obtener un rendimiento de 356 m<sup>3</sup> /h; esto genera poder mover un mayor tonelaje de roca (mineral y desmonte) por día.

Tabla 21.

*Incremento de Producción por día Mineral – Desmante*

	<b>Rendimiento (m3/h)</b>	<b>Mineral m3/día</b>	<b>Desmante m3/día</b>
<b>Antes</b>	326	34,454.00	22,969.00
<b>Después</b>	356	37,655.00	25,090.00

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla la reducción del costo unitario de carguío en 0.03 \$/m<sup>3</sup>, causa un gran impacto en la economía de la empresa, como se detalla en la Tabla siguiente.

Tabla 22.

*Ahorro obtenido por la reducción del Costo Unitario de Carguío*

		<b>PRODUCCIÓN</b>			
		<b>Mineral (m<sup>3</sup>)</b>		<b>Desmante (m<sup>3</sup>)</b>	
		<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>
		34,454.00	37,655.00	22,969.00	25,090.00
<b>COSTO</b>	<b>C.U. 0.33\$</b>	11,299.16	12,348.93	7,532.67	8,228.25
	<b>C.U. 0.30\$</b>	10,343.93	11,304.95	6,895.86	7,532.63
	<b>Ahorro \$</b>	<b>955.23</b>	<b>1,043.98</b>	<b>636.81</b>	<b>695.61</b>
	<b>Día</b>	955.23	1,043.98	636.81	695.61
	<b>Semana</b>	6,686.61	7,307.84	4,457.67	4,869.30
	<b>Mes</b>	28,656.88	31,319.30	19,104.31	20,868.44
	<b>Año</b>	<b>343,882.62</b>	<b>375,831.54</b>	<b>229,251.75</b>	<b>250,421.28</b>

Fuente: Elaboración propia

Se detalla en la Tabla 19, para el movimiento actual de m<sup>3</sup> en Mineral la empresa ahorra al año 375,831.54\$ y en desmante 250,421.28 \$.

## 4.2. Acarreo

Tabla 23.

*Reducción de número de volquetes.*

Material	Mineral	Desmonte	# Volquetes (Antes)		# Volquetes (Después)	
			Mineral (9)	Desmonte (5)	Mineral (7)	Desmonte (3)
caso1	1	3		<b>24</b>		<b>16</b>
caso2	2	2		<b>28</b>		<b>20</b>
caso3	0	4		<b>20</b>		<b>12</b>

Fuente: Elaboración propia

Del análisis de la correcta distribución de número de volquetes para cada frente de carguío; se concluyó que se tenía 8 volquetes que sobredimensionaban las flotas, los cuales hacían deficiente el transporte; por lo que elevaban los costos de dicha actividad.

Tabla 24.

*Reducción de Costos por eficiente uso de volquetes*

	Frente de Carguío (mineral)	Frente de Carguío (Desmonte)	Número de Volquetes		Costo por Día (\$)	
			Antes	Después	Antes	Después
caso1	1	3	<b>24</b>	<b>16</b>	<b>19,872.00</b>	<b>13,248.00</b>
caso2	2	2	<b>28</b>	<b>20</b>	<b>23,184.00</b>	<b>16,560.00</b>
caso3	0	4	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>16,560.00</b>	<b>9,936.00</b>

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

De acuerdo al análisis de resultados se determinó que la producción de mineral y desmonte incrementaron favorablemente; mineral de 34,454 Tm/día – 37,635 Tm/día. Desmonte de 22,969 Tm/día – 25,090 Tm/día.

Rivera (2018), en la conclusión de su tesis señala que: Con la excavadora CAT 336DL, se tiene una producción de material para movimiento de tierras desde la cantera China 1 hasta la presa de relaves enlozada de 476 t/h, una eficiencia operativa del 67,76 % y que el dimensionamiento de la flota óptima de acarreo para la excavadora CAT 336DL, se realizó mediante el análisis del factor de acoplamiento, en función al costo y la producción, obteniéndose que la flota óptima de acarreo es de 11 camiones, el costo unitario de carguío es de 0,2044 US\$/t, el costo unitario de acarreo es de 0,3050 US\$/t y la producción potencial carguío - acarreo es 623,52 t/h. en la presente investigación los costos de las operaciones unitarias de carguío y transporte al aplicar la teoría de colas se redujo en promedio en 1,09% (Carguío; 21.79 \$/Tm – 21.05 \$/Tm), (acarreo; 81.43 \$/Tm – 80.11 \$/Tm), que es representativo, toda vez que por el volumen de mineral que se transporta diariamente lo se logró una mejora en la economía de esta empresa minera.

En el análisis del incremento de la producción de los equipos de carguío y acarreo 10,03% y 9% esto con la aplicación de la teoría de colas se logró el incremento de (326 m<sup>3</sup>/h – 356 m<sup>3</sup>/h). Estos resultados se relacionan directamente con el total de

horas improductivas ocasionadas por las demoras en el ciclo de acarreo. Este resultado nos permite apoyar lo indicado por Barrientos, (2014) En su tesis denominada Análisis de factores operacionales en detenciones y productividad de sistema de carguío y transporte en minería a cielo abierto, llegó a la conclusión de que los resultados indican que se observa que los días de mayor productividad son aquellos que poseen la menor duración de las detenciones en estudio, entre otros factores. El modelo permite construir nuevos escenarios a partir del caso base, donde se agregan cambios operacionales ligados a agregar la posibilidad de que los camiones puedan realizar cambios de turno cargado, que se varíe la posición del estacionamiento respecto al chancador y el cambio del tipo de camiones. Lo que permite un aumento de un 4.2% en la productividad diaria y disminuyendo en un 10.6% la duración de las detenciones. Esto se traduce en un aumento del beneficio económico de 4.07 MUS\$ mensualmente.

## 4.2 Conclusiones

Se determinó el rendimiento para los equipos de carguío y acarreo lo cuales son para el volquete FMX 440 R =  $66,56\text{m}^3/\text{h}$  y para la excavadora 336 FL CAT el rendimiento en campo el de  $326,27\text{ m}^3/\text{h}$  el cual es comparado con el manual de fabricante que da un valor de  $396\text{ m}^3/\text{h}$ . lo cual es multiplicado por la eficiencia mecánica teniendo un valor como rendimiento real de  $356,4\text{ m}^3/\text{h}$  lo que indica que la excavadora está trabajando en un 91,55% de su máximo rendimiento.

Se concluye que luego de aplicar la Teoría de colas en las operaciones unitarias de carguío y acarreo se pudo incrementar en 9% ( $326\text{ m}^3/\text{h} - 356\text{ m}^3/\text{h}$ ) la producción de los equipos de carguío y la producción para los equipos de acarreo es de ( $60.49\text{ m}^3/\text{h} - 66.56\text{ m}^3/\text{h}$ ).

Se concluye que los costos de las operaciones unitarias de carguío y acarreo al aplicar la teoría de colas se redujeron en promedio en 1,09% (Carguío;  $21.79\text{ \$/Tm} - 21.05\text{ \$/Tm}$ ), (acarreo;  $81.43\text{ \$/Tm} - 80.11\text{ \$/Tm}$ ), el cual logró una mejora en la economía de esta empresa minera.

Se evaluaron los costos obtenidos luego de la aplicación de la teoría de colas lo cual se tiene Ahorro por día de \$ 6,624.00, mes \$198,720.00 y año \$198,720.00

## REFERENCIAS

- Aymachoque, Javier. (2008). *La programación dinámica aplicada a la secuencia de minado superficial de un yacimiento de oro diseminado, mina la virgen de la Compañía Minera San Simón S.A.* Tesis de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú.
- Barrientos, Víctor. (2014). *Análisis de factores operacionales en detenciones y productividad del sistema carguío y transporte en minería a cielo abierto.* Tesis de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería de Minas, Universidad de Chile.
- Machaca, E. (2016). *Selección de equipos de carguío y transporte mediante el factor de acoplamiento para los tres primeros lifts de la reconformación del botadero Jesica en la Mina Aruntani.* Universidad Nacional del Altiplano
- Malimba, A. (2019). *Cálculo de la Flota de Carguío y Transporte para Optimizar la Producción Diaria en el Tajo Ciénaga Norte - Coimolache.* Universidad Nacional de Cajamarca.
- Marín, C. (2015). *Incremento de la productividad en el carguío y acarreo en frentes que presentan altos contenidos de arcillas al utilizar un diseño de lastre adecuado, minera Yanacocha.* (tesis pregrado). Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú.

Maxera, Carlos. (2013). *Aplicación de simulación para la optimización del acarreo de mineral*. Tesis digital de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera Metalúrgica y Geográfica, E.A.P. de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Meza Castro, Josué. (2011). *Desarrollo de un modelo para la aplicación de simulación a un sistema de carguío y acarreo de desmonte en una operación minera a tajo abierto*. Tesis de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Rivera, R. (2018). *Mejoramiento de la flota de carguío y acarreo en operaciones mina, para el incremento de la producción, Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.* Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Rodríguez, D. (2013). *Modelo analítico para el dimensionamiento de flota de transporte en minería a cielo abierto: Análisis de prioridades de atención según rendimiento*. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Schwars, Max. (2017). *Teoría de colas aplicado a la industria minera*. Tesis de la Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional de Ingeniería.

## ANEXOS

ANEXO N° 01: Formato de tiempos en ciclo de carguío y acarreo

---

<b>CICLO DE ACARREO TAJO-BOTADERO VOLVO 20 – 25 M3</b>					
<b>(12 DATOS)</b>					
<b>Volquetes</b>	<b>Tiempo Ida</b>	<b>Tiempo Cuadre</b>	<b>Tiempo Descarga</b>	<b>Tiempo Retorno</b>	<b>Ciclo min.</b>

---

### **Promedio**

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N° 02: Ficha técnica de los volquetes Volvo FMX 440



## FMX 440/480 6X4R/8X4R

### MOTOR

**Modelo:** VOLVO D13A Euro 3  
**Cilindrada:** 12,8 lts, 6 cilindros en línea y 4 válvulas por cilindro. Unidades individuales de inyector bomba. Sistema de inyección con gerenciamento electrónico.  
**Potencia:** 440/480cv entre 1.400 -1.800 rpm  
**Torque:** 2.200/2.400 Nm entre 1.050-1.450 rpm

### CAJA DE VELOCIDADES

**Modelo:** Volvo VT2514B  
**Tipo:** Manual sincronizada.  
**Marchas:** 14 (1,2+2) velocidades  
**Opcional:** Automatizada (I-Shift)/12 velocidades

### DIFERENCIAL

**Modelo:** RTH3210F  
**Relación de reducción:** 3,33/3,45/3,51/3,76/  
 3,97/4,12/4,55/5,41/6,18/7,21  
**Capacidad de arrastre:** 100' Ton  
 (\*)130 Ton para rat 4,12 ó mas corto.

### SUSPENSIÓN DELANTERA

**Tipo:** Ballestas parabólicas con amortiguadores y barra estabilizadora.  
**Capacidad:** -7.500-8.000-9.000 Kg (6x4R)  
 -16.000-18.000 Kg (8x4R)

### SUSPENSIÓN TRASERA

**Tipo:** Ballestas semielípticas con amortiguadores y barra estabilizadora.  
**Capacidad:** 32.000 Kg  
**Opcional:** Suspensión neumática (tajo consulta).

### FRENOS

**Tipo:** Frenos a tambor con ABS.  
**Freno auxiliar:** Freno de motor VEB a través de las válvulas de 410 cv.

### CHASIS

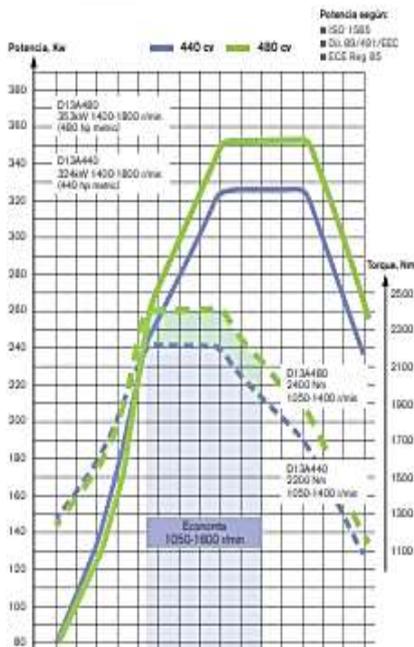
**Material:** Acero especial LNECO de alta resistencia y bajo peso, con refuerzo interno.  
**Altura:** 300 mm  
**Ala:** 90 mm  
**Espesor + refuerzo:** 9 + 5 mm  
**Gancho delantero para remolque:** de 32 Ton.

### TANQUES DE COMBUSTIBLE

**Tipo:** Rectangular  
**Material:** Plástico  
**Capacidad:** -420 lbs 6x4R entre ejes 3.700 mm

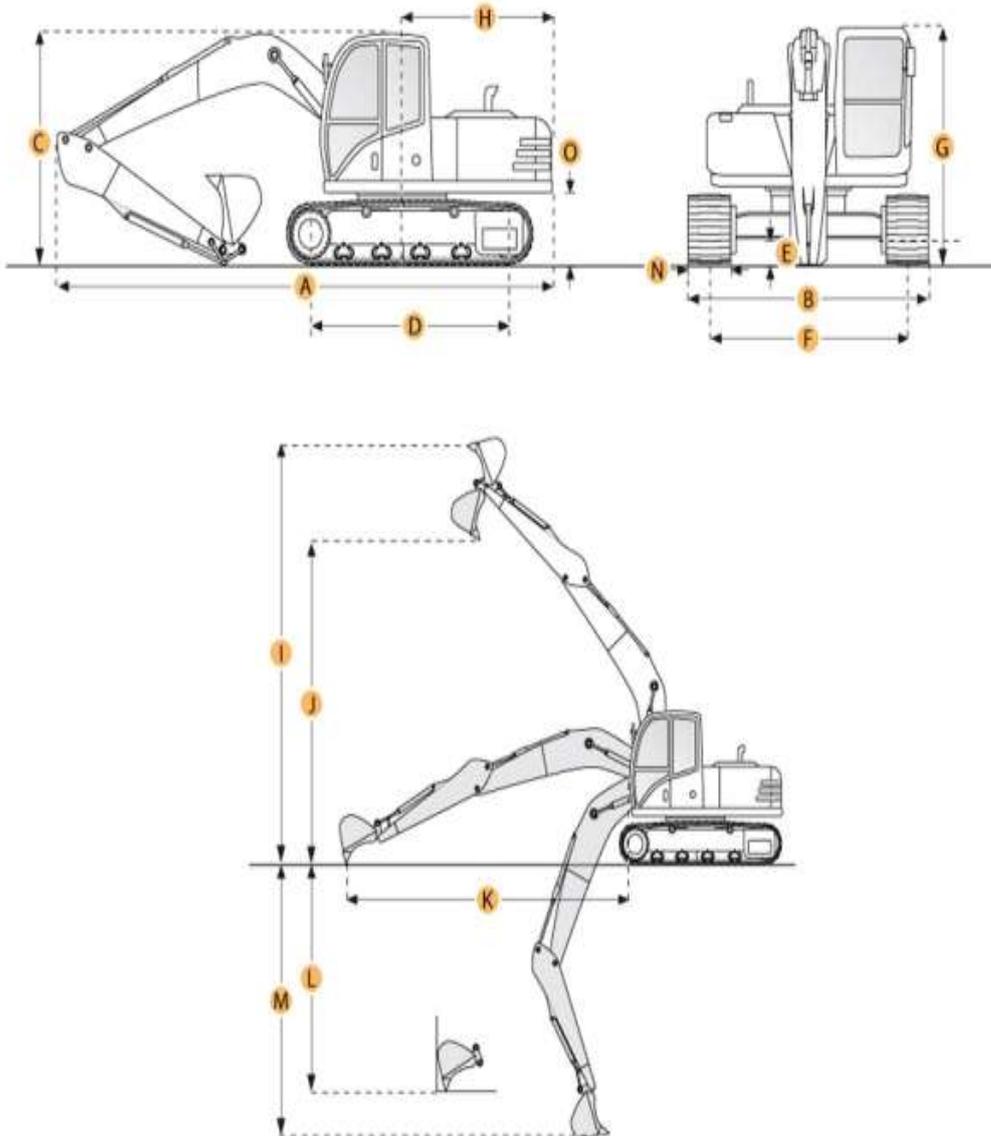
### NEUMÁTICOS Y LLANTAS

**Neumáticos:** 12R20  
**Llantas:** Acero  
**Opcional:** 11R20-11R22,5-325/95R24-



Fuente: Pagina web de la marca Volvo.

**CATERPILLAR®** Excavadora Hidráulica CATERPILLAR 336D L



Aplicación de la teoría de colas para mejorar la producción del carguío y acarreo en una empresa minera de Cajamarca 2020.

Dimensiones	
Peso operativo	30498 Kg
A. Largo	1120 cm
B. Anchura por fuera de las pistas	339 cm
C. Altura	363 cm
D. Largo de las pistas	404 cm
E. Distancia libre de piso a máquina	45 cm
F. Indicador de orugas	259
G. Altura a la cabina	314 cm
H. Radio de giro del swing	350 cm
I. Altura máxima de corte	1074.9 cm
J. Altura máxima de carga	754.2 cm
K. Alcance máximo a nivel de suelo	1171.4 cm
L. Profundidad máxima de excavación vertical	715.2 cm
M. Profundidad máxima de excavación	818.5 cm
N. Tamaño de pista	80 cm
O. Margen de contrapeso	122 cm
Capacidad de aceite de motor	40 Lt
Capacidad de aceite del swing	19 Lt
Capacidad de bombeo de aceite hidráulico	280.1 L/min
Capacidad de refrigerante	40 Lt
Capacidad de sistema hidráulico	410 Lt
Capacidad de tanque de combustible	620 Lt
Presión de válvula de alivio	5076 Psi
Velocidad de swing	10 rpm
Velocidad máxima	5 Km/h
Desplazamiento de motor	8.8 Lt
Marca de motor	CATERPILLAR
Modelo	C9
Potencia neta	266 Hp
Torque del swing	80.1 Lb ft
Fuerza de tracción	67442.7 Lb
Capacidad de cucharón de referencia	1.2 m3
Capacidad máxima del cucharón	2.6 m3

Fuente: Manual de rendimiento Caterpillar edición 39 en español

ANEXO N° 04: Galería fotográfica



Aplicación de la teoría de colas para mejorar la producción del carguío y acarreo en una empresa minera de Cajamarca 2020.

